

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0003186  
(43) 공개일자 2024년01월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/20 (2020.01) G06F 119/02 (2020.01)  
G06F 119/04 (2020.01) G06F 17/18 (2006.01)  
G06F 30/13 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/20 (2020.01)  
G06F 17/18 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0080350

(22) 출원일자 2022년06월30일

심사청구일자 2022년06월30일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김준희

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제1공학관 413호

최인섭

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제1공학관 475호

조재현

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제1공학관 475호

(74) 대리인

김인철

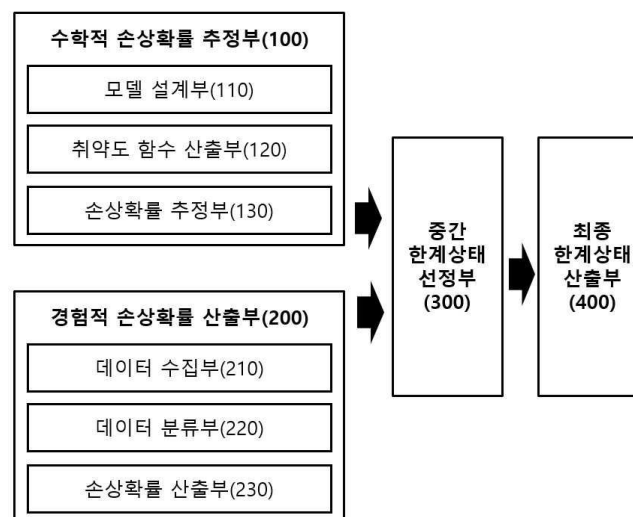
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템 및 산출방법

## (57) 요약

본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템으로서, 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 수학적 손상확률 추정부(100); 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 경험적 손상확률 산출부(200); 수학적 손상확률 추정부(100)에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부(200)에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정하는 중간 한계상태 선정부(300); 및 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 최종 한계상태 산출부(400)를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**G06F 30/13** (2020.01)

G06F 2119/02 (2020.01)

G06F 2119/04 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711128353

과제번호 2021R1A2C2007064

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)

연구과제명 (통합Ezbaro)공공건축물의 내진성능확보를 위한 안전성-경제성 기반 하이브리드 보강효과 평가기법 개발(1/5)(2021.03.01~2026.02.28)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2021.03.01 ~ 2022.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템으로서,

건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 수학적 손상확률 추정부;

건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 경험적 손상확률 산출부;

수학적 손상확률 추정부에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정하는 중간 한계상태 선정부; 및

상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 최종 한계상태 산출부를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 수학적 손상확률 추정부는

건축물의 특성을 반영하여 프로토타입 모델을 설계하는 모델 설계부;

상기 모델 설계부에서 설계된 프로토타입 모델에 대해, 층간변위비 및 재료 변형률로 제시된 기존 한계상태에 대한 취약도 함수를 산출하는 취약도 함수 산출부; 및

상기 산출된 취약도 함수를 통해 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 손상확률 추정부가 구비되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

#### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 취약도 함수 산출부에서

취약도 함수에서의 손상확률( $P_f$ )은 주어진 지진강도(intensity measure, IM)에서 특정 한계점의 초과여부를 나타내는 조건부 확률인 수학적 식 1로 정의되며,

취약도 함수는 로그 정규 분포(lognormal distribution)의 누적 분포 함수(cumulative distribution function, CDF)로 정의되고, 평균과 표준편차는 누적 분포 함수의 평균 및 표준편차가 되는 값으로서 지진강도로 표현되는 다음 수학적 식 2로 도출되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$P_f(IM) = P(edp \geq edp_{LS} | IM)$$

[수학적 식 1]

(여기서, edp는 층간변위비나 재료의 변형률과 같은 EDP(engineering demand parameter)의 값이고,  $edp_{LS}$ 는 성능수준에 따른 한계상태에 의해 결정되는 한계값을 나타낸다.)

$$P_f(IM) = \Phi \left[ \frac{\ln(IM) - \mu_{LS_i}}{\sigma_{LS_i}} \right]$$

[수학적 식 2]

(여기서,  $\Phi[\cdot]$ 는 표준 정규 분포의 누적 분포 함수이고,  $\mu_{LS_i}$ 는 누적분포함수의 평균이 되는 값으로서 지진강도로 표현되고,  $\sigma_{LS_i}$ 는 표준편차가 되는 값이고,  $LS_i$ 는  $i$ 의 값에 따른 한계상태이고,  $i=1$ 일 경우 즉시거주(immediate occupancy, I.O),  $i=2$ 일 경우 인명안전(life safety, L.S),  $i=3$ 일 경우 붕괴방지(collapse prevention, C.P)의 한계상태이다.)

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 취약도 함수 산출부에서

주어진 지진 강도(IM)에서 건축물의 한계상태의 한계값을 초과할 확률인 취약도 함수는 다음 수학식 3으로 도출되며, 취약도 함수를 통해 전체 값에 대해 지진 강도에 따른 EDP의 한계상태의 한계값을 초과하는 데이터의 비율을 알 수 있는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$P_f(IM) = P(edp > edp_{LS} | IM) = \frac{\sum_{j=1}^N I(edp_j > edp_{LS} | IM)}{N}$$

[수학식 3]

(여기서,  $I(\cdot)$ 는 인덱스 함수로 함수 안의 식이 참일 경우 1을 반환하고, 그 외의 경우는 0을 반환한다.  $edp_j$ 에서  $j$ 는 데이터의 순서를 나타내는 기호로 총  $N$ 개의 데이터에 대해 첫 번째 데이터일 경우  $j=1$ ,  $N$ 번째 데이터는  $j=N$ 으로 표시하며,  $edp_{LS}$ 는 한계상태의 한계값을 나타내는 기호로서 한계상태를 초과하는 데이터에 대해서는 1을, 초과하지 못하는 데이터에 대해서는 0을 반환하게 된다. 이 값들을 전부 합하게 된다면 수학식 3에서 구하고자 하는 손상확률  $P_f(IM)$ 을 구할 수 있다.)

#### 청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 손상확률 추정부에서

기대확률(EP)은 함수 또는 확률 모델의 기댓값을 의미하고 누적 분포 함수  $F(x)$ 를 이용하여 수학식 4로 정의되며,

기대확률(EP)은 상기 수학식 3으로 도출된 취약도 함수를 다음 수학식 4에 대입하여 식을 정리하여, 수학식 5로 도출되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$EP = \int_{x_1}^{x_n} F(x) dx$$

[수학식 4]

$$EP_{LS_i} = \int_{IM_1}^{IM_2} \Phi \left[ \frac{\ln(IM) - \mu_{LS_i}}{\sigma_{LS_i}} \right] dM$$

[수학식 5]

(여기서,  $EP_{LS_i}$ 은 주어진 지진강도  $IM_1$ 과  $IM_2$  사이의 범위 내에서 특정한 한계상태( $LS_i$ )일 때 취약도 함수로부터 도출되는 기대확률이다.)

#### 청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 손상확률 추정부에서

건축물의 성능수준에 따른 수학적 손상확률( $AEP_{P_j}$ )은 한계상태가 다른 두 취약도 함수로부터 도출되는 기대 확률의 차이로서, 각각의 성능수준에서 손상확률은 다음 수학적 식 6으로 산출되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$AEP_{P_j} = \frac{EP_{LS_{j-1}} - EP_{LS_j}}{EP_{LS_0}}$$

[수학적 식 6]

(여기서,  $EP_{LS_0}$ 는 주어진 지진강도  $IM_1$ 과  $IM_2$  사이의 범위 내 전체 영역이다.  $EP_{LS_{j-1}} - EP_{LS_j}$ 는 각각 연속되는 두 한계상태에 대해 초과할 확률을 나타내는 식으로 둘의 차이를 통해 구하고자 하는 한계상태에 대한 손상확률을 구할 수 있다.  $P_j$ 는 한계상태에 따른 성능수준을 나타내며,  $j=1$ 일 경우 즉시거주 단계,  $j=2$ 일 경우 인명안전 단계,  $j=3$ 일 경우 붕괴방지 단계,  $j=4$ 일 경우 붕괴 단계이다.)

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 경험적 손상확률 산출부는

건축물에 대한 관측 데이터를 수집하는 데이터 수집부;

상기 관측데이터를 손상 단계별로 구분하는 데이터 분류부; 및

상기 손상 단계별로 구분된 데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 손상확률 산출부가 구비되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

#### 청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 손상확률 산출부는 다음 수학적 식 7로 건축물에 대한 관측데이터의 경험적 손상확률을 산출하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$EEP_{P_j} = \frac{N_{LS_{j-1}} - N_{LS_j}}{N_{LS_0}}$$

[수학적 식 7]

(여기서,  $EEP_{P_j}$ 는 관측데이터의 경험적 손상확률이며,  $N_{LS_j}$ 는 관측데이터의 각각의 한계상태를 초과하는 데이터의 수를 의미하며,  $N_{LS_0}$ 는 전체 관측 데이터의 수를 의미한다.  $j=1$ 일 경우 즉시거주 단

계,  $j=2$ 일 경우 인명안전 단계,  $j=3$ 일 경우 붕괴방지 단계,  $j=4$ 일 경우 붕괴 단계이다.  $N_{LS_j}$ 는 전 단계의 한계상태에 대해 관측데이터의 각각의 한계상태를 초과하는 데이터의 수를 의미한다.)

#### 청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 중간 한계상태 선정부는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)을 최소화하는 다음 수학식 8을 통해 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태를 선정하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

[수학식 8]

$$\text{Min} |AEP_x - EEP|$$

subjected to  $AEP_x$

(여기서,  $AEP_x$  는 공학적 지표의 한계상태에 따른 수학적 손상확률을 나타내며, EEP는 관측데이터를 통한 경험적 손상확률을 의미한다.)

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 중간 한계상태 선정부는

건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 다음 수학식 9를 통해 취약도 곡선의 지진강도로 표현되는 평균( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$\text{Min} |AEP_{P(j,k)} - EEP_{P_j}|$$

$$\text{subjected to } \mu_{LS(j,k)}$$

[수학식 9]  $1 \leq j \leq 4, 1 \leq k \leq 1000$

(여기서, j는 1,2,3,4이고 이를 통해 각 단계별 한계상태와 그에 따른 성능수준을 나타낼 수 있다. 수학적 손상확률을 구하는 과정에서는 j값과 k값에 따라 지진 강도로 표현되는 누적 분포 함수의 평균이 되는 값

( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정되고, 이를 통해 수학식 9의 최적화 과정이 가능하다.  $AEP_{P(j,k)}$ 는 한계상태에 따른

수학적 손상확률을 의미한다.  $EEP_{P_j}$ 는 한계상태에 따른 경험적 손상확률을 의미한다.)

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 최종 한계상태 산출부는

상기 수학식 9를 통해 산출한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 다음 수학식 10으로 산출하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템.

$$\text{For } AEP_{P_j} = AEP_{P(j,k)}$$

$$\text{Find } edp_{LS(j,k)}$$

[수학식 10]

(여기서,  $AEP_{P_j}$ 는 최종 한계상태를 사용하여 도출할 수 있는 수학적 손상확률을 의미하고,  $AEP_{P_{(j,k)}}$ 는  $AEP_{P_j}$ 를 도출하기 위해 수학식 8에서 구한 경험적 손상확률과 같은 손상확률을 갖는 수학적 손상확률을 의미한다.  $edp_{LS(j,k)}$ 는 최종 한계상태값이다.)

## 청구항 12

데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법으로서, 제어서버는

수학적 손상확률 추정부가 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 S100 단계;

경험적 손상확률 산출부가 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 S200 단계;

중간 한계상태 선정부가 상기 수학적 손상확률 추정부에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정하는 S300 단계; 및

최종 한계상태 산출부가 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 S400 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법.

## 청구항 13

청구항 12에 있어서,

S100 단계는

모델 설계부가 건축물의 특성을 반영하여 프로토타입 모델을 설계하는 S110 단계;

취약도 함수 산출부가 상기 모델 설계부에서 설계된 프로토타입 모델에 대해, 층간변위비 및 재료 변형률로 제시된 기존 한계상태에 대한 취약도 함수를 산출하는 S120 단계; 및

손상확률 추정부가 상기 산출된 취약도 함수를 통해 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 S130 단계로 구비되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법.

## 청구항 14

청구항 12에 있어서,

S200 단계는

데이터 수집부가 건축물에 대한 관측 데이터를 수집하는 S210 단계;

데이터 분류부가 상기 관측데이터를 손상 단계별로 구분하는 S220 단계; 및

손상확률 산출부가 상기 손상 단계별로 구분된 데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 S230 단계로 구비되는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법.

## 청구항 15

청구항 12에 있어서,

S300 단계의 중간 한계상태 선정부는

건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 다음 수학식 8을 통해 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태를 선정하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터

기반 한계상태 산출방법.

[수학식 8]

$$\text{Min} |AEP_x - EEP|$$

subjected to  $AEP_x$

(여기서,  $AEP_x$  는 공학적 지표의 한계상태에 따른 수학적 손상확률을 나타내며,  $EEP$ 는 관측데이터를 통한 경험적 손상확률을 의미한다.)

#### 청구항 16

청구항 15에 있어서,

S300 단계의 중간 한계상태 선정부는

건축물의 수학적 손상확률( $AEP$ )과 경험적 손상확률( $EEP$ )의 차이를 최소화하는 다음 수학식 9를 통해 취약도 곡

선의 지진강도로 표현되는 평균( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법.

$$\begin{aligned} &\text{Min} |AEP_{P_{(j,k)}} - EEP_{P_j}| \\ &\text{subjected to } \mu_{LS(j,k)} \end{aligned}$$

[수학식 9]  $1 \leq j \leq 4, 1 \leq k \leq 1000$

(여기서,  $j$ 는 1,2,3,4이고 이를 통해 각 단계별 한계상태와 그에 따른 성능수준을 나타낼 수 있다. 수학적 손상확률을 구하는 과정에서는  $j$ 값과  $k$ 값에 따라 지진 강도로 표현되는 누적 분포 함수의 평균이 되는 값

( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정되고, 이를 통해 수학식 9의 최적화 과정이 가능하다.  $AEP_{P_{(j,k)}}$ 는 한계상태에 따른

수학적 손상확률을 의미한다.  $EEP_{P_j}$ 는 한계상태에 따른 경험적 손상확률을 의미한다.)

#### 청구항 17

청구항 16에 있어서,

S400 단계의 최종 한계상태 산출부는

상기 수학식 9를 통해 산출한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 다음 수학식 10으로 산출하는 것을 특징으로 하는 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법.

$$\begin{aligned} &\text{For } AEP_{P_j} = AEP_{P_{(j,k)}} \\ &\text{Find } edp_{LS(j,k)} \end{aligned}$$

[수학식 10]

(여기서,  $AEP_{P_j}$ 는 최종 한계상태를 사용하여 도출할 수 있는 수학적 손상확률을 의미하고,



$AEP_{P_{(j,k)}}$ 는  $AEP_{P_j}$ 를 도출하기 위해 수학적 식 8에서 구한 경험적 손상확률과 같은 손상확률을 갖는 수학적 손상확률을 의미한다.  $edp_{LS_{(j,k)}}$ 는 최종 한계상태값이다.)

## 청구항 18

하드웨어와 결합되어, 청구항 12에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템 및 산출방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 전 세계적으로 지진의 발생횟수가 증가하고 있으며 우리나라도 현재 지진의 발생횟수와 그에 따른 피해가 점차 증가하고 있다. 이에 따라 건축물의 내진성능 확보 및 평가에 대한 중요성이 대두되고 있다.

[0003] 국내의 건축물의 내진성능 평가에 대한 종래기술이 한국등록특허 제10-1880548호에 제시되어 있다. 해당 특허에서는 골조 유형 및 층수 정보에 상응하는 건축물의 취약도 곡선을 HAZUS-MH에서 제시한 건축물의 골조 유형별 취약도 곡선 파라미터에 의해 생성하고, 손상확률을 산출하여 성능 수준을 평가한다. 하지만 이는 두 가지의 횡하중 저항시스템이 복합적으로 결합되어 있는 필로티 건축물과 같이 기존의 HAZUS-MH에 제시되어 있지 않은 경우에는 부적합한 문제점이 있다.

[0004] 또한, 건축물의 취약도 곡선을 생성하여 손상확률을 추정하는 과정에서 발생하는 불확실성을 제거하기 위한 종래기술이 한국등록특허 제10-2143805호에서 제시되어 있다. 해당 특허에서는 데이터베이스의 재난 정보를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대한 구간별로 취약도 곡선을 도출하고, 이를 바탕으로 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 취약도를 도출하여 불확실성을 제거하고자 하였다. 그러나, 선행기술 3에서는 취약도 곡선을 도출하는 과정에서 기존의 한계상태를 이용하였다는 한계가 있다는 문제점이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국등록특허 제10-1880548호(2018.07.16)

(특허문헌 0002) (문헌 2) 한국등록특허 제10-2143805호 (2020.08.06)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템 및 산출방법은 다음과 같은 해결과제를 가진다.

[0007] 첫째, 본 발명은 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 추정된 수학적 손상확률과 건축물의 관측데이터의 경험적 손상확률의 비교 및 분석을 통한 새로운 최종 한계상태를 제시하고자 한다.

[0008] 둘째, 새로운 한계상태를 이용하여, 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 과정에서 발생하는 오차를 감소시키고자 한다.

[0009] 셋째, 새로운 한계상태를 토대로, 건축물의 손상확률을 추정한 취약도 평가 결과와 실제 데이터의 결과와 오차를 줄이고자 한다.

[0010] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템으로서, 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 수학적 손상확률 추정부; 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 경험적 손상확률 산출부; 수학적 손상확률 추정부에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정하는 중간 한계상태 선정부; 및 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 최종 한계상태 산출부를 포함한다.

[0012] 본 발명에 있어서, 상기 수학적 손상확률 추정부는 건축물의 특성을 반영하여 프로토타입 모델을 설계하는 모델 설계부; 상기 모델 설계부에서 설계된 프로토타입 모델에 대해, 층간변위비 및 재료 변형률로 제시된 기존 한계상태에 대한 취약도 함수를 산출하는 취약도 함수 산출부; 및 상기 산출된 취약도 함수를 통해 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 손상확률 추정부가 구비될 수 있다.

[0013] 본 발명에 있어서, 상기 취약도 함수 산출부에서 취약도 함수에서의 손상확률( $P_f$ )은 주어진 지진강도(intensity measure, IM)에서 특정 한계점의 초과여부를 나타내는 조건부 확률인 수학적 1로 정의되며, 취약도 함수는 로그 정규 분포(lognormal distribution)의 누적 분포 함수(cumulative distribution function, CDF)로 정의되고, 평균과 표준편차는 누적 분포 함수의 평균 및 표준편차가 되는 값으로서 지진강도로 표현되는 수학적 2로 도출될 수 있다.

[0014] 본 발명에 있어서, 상기 취약도 함수 산출부에서 주어진 지진 강도(IM)에서 건축물의 한계상태의 한계값을 초과할 확률인 취약도 함수는 수학적 3으로 도출되며, 취약도 함수를 통해 전체 값에 대해 지진 강도에 따른 EDP의 한계상태의 한계값을 초과하는 데이터의 비율을 알 수 있다.

[0015] 본 발명에 있어서, 상기 손상확률 추정부에서 기대확률(EP)은 함수 또는 확률 모델의 기댓값을 의미하고 누적 분포 함수  $F(x)$ 를 이용하여 수학적 4로 정의되며, 기대확률(EP)은 수학적 3으로 도출된 취약도 함수를 수학적 4에 대입하여 식을 정리하여, 수학적 5로 도출될 수 있다.

[0016] 본 발명에 있어서, 상기 손상확률 추정부에서 건축물의 성능수준에 따른 수학적 손상확률( $AEP_{P_i}$ )은 한계상태가 다른 두 취약도 함수로부터 도출되는 기대확률의 차이로서, 각각의 성능수준에서 손상확률은 수학적 6으로 산출될 수 있다.

[0017] 본 발명에 있어서, 상기 경험적 손상확률 산출부는 건축물에 대한 관측 데이터를 수집하는 데이터 수집부; 상기 관측데이터를 손상 단계별로 구분하는 데이터 분류부; 및 상기 손상 단계별로 구분된 데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 손상확률 산출부가 구비될 수 있다.

[0018] 본 발명에 있어서, 상기 손상확률 산출부는 수학적 7로 건축물에 대한 관측데이터의 경험적 손상확률을 산출할 수 있다.

[0019] 본 발명에 있어서, 상기 중간 한계상태 선정부는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)와 경험적 손상확률(EEP)을 최소화하는 수학적 8을 통해 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태를 선정할 수 있다.

[0020] 본 발명에 있어서, 상기 중간 한계상태 선정부는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)와 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 수학적 9를 통해 취약도 곡선의 지진강도로 표현되는 평균( $\mu_{LS}^{(j,k)}$ )이 결정할 수 있다.

[0021] 본 발명에 있어서, 상기 최종 한계상태 산출부는 수학적 9을 통해 산출한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 수학적 10으로 산출할 수 있다.

[0022] 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법으로서, 제어서버는 수학적 손상확률 추정부가 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 S100 단계; 경험적 손상확률 산출부가 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험

적 손상확률을 산출하는 S200 단계; 중간 한계상태 선정부가 상기 수학적 손상확률 추정부에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정하는 S300 단계; 및 최종 한계상태 산출부가 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 S400 단계를 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명에 있어서, S100 단계는 모델 설계부가 건축물의 특성을 반영하여 프로토타입 모델을 설계하는 S110 단계; 취약도 함수 산출부가 상기 모델 설계부에서 설계된 프로토타입 모델에 대해, 층간변위비 및 재료 변형률로 제시된 기존 한계상태에 대한 취약도 함수를 산출하는 S120 단계; 및 손상확률 추정부가 상기 산출된 취약도 함수를 통해 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 S130 단계로 구비될 수 있다.

[0024] 본 발명에 있어서, S200 단계는 데이터 수집부가 건축물에 대한 관측 데이터를 수집하는 S210 단계; 데이터 분류부가 상기 관측데이터를 손상 단계별로 구분하는 S220 단계; 및 손상확률 산출부가 상기 손상 단계별로 구분된 데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 S230 단계로 구비될 수 있다.

[0025] 본 발명에 있어서, S300 단계의 중간 한계상태 선정부는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 수학적 8을 통해 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태를 선정할 수 있다.

[0026] 본 발명에 있어서, S300 단계의 중간 한계상태 선정부는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 수학적 9를 통해 취약도 곡선의 지진강도로 표현되는 평균( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정할 수 있다.

[0027] 본 발명에 있어서, S400 단계의 최종 한계상태 산출부는 수학적 9를 통해 산출한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 수학적 10으로 산출할 수 있다.

[0028] 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

### 발명의 효과

[0029] 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템 및 산출방법은 다음과 같은 효과를 가진다.

[0030] 첫째, 본 발명은 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 추정한 수학적 손상확률과 건축물의 관측데이터의 경험적 손상확률의 비교 및 분석을 통한 새로운 최종 한계상태를 제시하는 효과가 있다.

[0031] 둘째, 새로운 한계상태를 이용하여, 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 과정에서 발생하는 오차를 감소시키는 효과가 있다.

[0032] 셋째, 새로운 한계상태를 토대로, 건축물의 손상확률을 추정한 취약도 평가 결과와 실제 데이터의 결과와 오차를 줄이는 효과가 있다.

[0033] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법의 순서도이다.

도 3은 본 발명의 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수의 수학적 손상확률을 추정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예의 필로티 건축물에 대한 적용을 보여주는 순서도이다.

도 5는 최종 한계상태를 구하여 손상확률을 도출하는 과정을 나타내는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.
- [0036] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.
- [0037] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0038] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0039] 본 명세서에서 사용되는 방향에 관한 표현, 예를 들어 전/후/좌/우의 표현, 상/하의 표현, 종방향/횡방향의 표현은 도면에 개시된 방향을 참고하여 해석될 수 있다.
- [0041] 본 발명은 건축물의 층간변위비와 재료의 변형률과 같은 공학적 지표(engineering demand parameter, EDP)로 제시한 기존 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 추정된 수학적 손상확률과 관측데이터의 경험적 손상확률의 비교 및 분석을 통한 새로운 최종 한계상태를 개발하여, 건축물의 취약도 평가에서 적절한 한계상태를 통해 건축물의 내진성능 평가를 하는 방법에 관한 것이다.
- [0042] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다. 참고로, 도면은 본 발명의 특징을 설명하기 위하여, 일부 과장되게 표현될 수도 있다. 이 경우, 본 명세서의 전 취지에 비추어 해석되는 것이 바람직하다.
- [0044] 도 1은 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템의 구성도이다.
- [0045] 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템으로서, 도 1에 도시된 바와 같이, 수학적 손상확률 추정부(100), 경험적 손상확률 산출부(200), 중간 한계상태 선정부(300) 및 최종 한계상태 산출부(400)를 포함한다.
- [0046] 더욱 구체적으로 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출시스템은 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 수학적 손상확률 추정부(100); 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 경험적 손상확률 산출부(200); 수학적 손상확률 추정부(100)에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부(200)에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정하는 중간 한계상태 선정부(300); 및 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 최종 한계상태 산출부(400)를 포함한다.
- [0048] 이하에서는 본 발명에 따른 수학적 손상확률 추정부(100)를 설명한다.
- [0049] 본 발명에 따른 수학적 손상확률 추정부(100)는 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정할 수 있다.
- [0050] 본 발명에 따른 수학적 손상확률 추정부(100)는 건축물의 특성을 반영하여 프로토타입 모델을 설계하는 모델 설계부(110); 상기 모델 설계부(110)에서 설계된 프로토타입 모델에 대해, 층간변위비 및 재료 변형률로 제시된 기존 한계상태에 대한 취약도 함수를 산출하는 취약도 함수 산출부(120); 및 상기 산출된 취약도 함수를 통해 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 손상확률 추정부(130)가 구비될 수 있다.

[0052] 본 발명에 따른 모델 설계부(110)는 건축물마다 다르게 나타나는 특성을 프로토타입 모델을 설계하는 과정에 반영할 수 있다.

[0054] 본 발명에 따른 취약도 함수 산출부(120)에서, 취약도 함수에서의 손상확률( $P_f$ )은 주어진 지진강도(intensity measure, IM)에서 특정 한계점의 초과여부를 나타내는 조건부 확률인 다음 수학적 식 1로 정의되며, 취약도 함수는 로그 정규 분포(lognormal distribution)의 누적 분포 함수(cumulative distribution function, CDF)로 정의되고, 평균과 표준편차는 누적 분포 함수의 평균 및 표준편차가 되는 값으로서 지진강도로 표현되는 다음 수학적 식 2로 도출될 수 있다.

### 수학적 식 1

[0055] 
$$P_f(IM) = P(edp \geq edp_{LS} | IM)$$

[0056] 여기서, edp는 층간변위비나 재료의 변형률과 같은 EDP(engineering demand parameter)의 값이고,  $edp_{LS}$ 는 성능 수준에 따른 한계상태에 의해 결정되는 한계값을 나타낸다.

### 수학적 식 2

[0057] 
$$P_f(IM) = \Phi \left[ \frac{\ln(IM) - \mu_{LS_i}}{\sigma_{LS_i}} \right]$$

[0058] 여기서,  $\Phi[\cdot]$ 는 표준 정규 분포의 누적 분포 함수이고,  $\mu_{LS_i}$ 는 누적분포함수의 평균이 되는 값으로서 지진 강도로 표현되고,  $\sigma_{LS_i}$ 는 표준편차가 되는 값이고,  $LS_i$ 는  $i$ 의 값에 따른 한계상태이고,  $i=1$ 일 경우 즉시 거주(immediate occupancy, I.O),  $i=2$ 일 경우 인명안전(life safety, L.S),  $i=3$ 일 경우 붕괴방지(collapse prevention, C.P)의 한계상태이다.

[0060] 본 발명에 따른 취약도 함수 산출부(120)에서, 주어진 지진 강도(IM)에서 건축물의 한계상태의 한계값을 초과할 확률인 취약도 함수는 다음 수학적 식 3으로 도출되며, 취약도 함수를 통해 전체 값에 대해 지진 강도에 따른 EDP의 한계상태의 한계값을 초과하는 데이터의 비율을 알 수 있다.

### 수학적 식 3

[0061] 
$$P_f(IM) = P(edp > edp_{LS} | IM) = \frac{\sum_{j=1}^N I(edp_j > edp_{LS} | IM)}{N}$$

[0062] 여기서,  $I(\cdot)$ 는 인덱스 함수로 함수 안의 식이 참일 경우 1을 반환하고, 그 외의 경우는 0을 반환한다.  $edp_j$ 에서  $j$ 는 데이터의 순서를 나타내는 기호로 총  $N$ 개의 데이터에 대해 첫 번째 데이터일 경우  $j=1$ ,  $N$ 번째 데이터는  $j=N$ 으로 표시하며,  $edp_{LS}$ 는 한계상태의 한계값을 나타내는 기호로서 한계상태를 초과하는 데이터에 대해서는 1을, 초과하지 못하는 데이터에 대해서는 0을 반환하게 된다. 이 값들을 전부 합하게 된다면 수학적 식 3에서 구하

고자 하는 손상확률  $P_i(IM)$ 을 구할 수 있다.

[0064] 본 발명에 따른 손상확률 추정부(130)에서, 기대확률(EP)은 함수 또는 확률 모델의 기댓값을 의미하고 누적 분포 함수  $F(x)$ 를 이용하여 수학식 4로 정의되며, 기대확률(EP)은 상기 수학식 3으로 도출된 취약도 함수를 다음 수학식 4에 대입하여 식을 정리하여, 수학식 5로 도출될 수 있다. 수학식 5에서 사용된 기호들은 수학식 2에서 정의된 기호들을 이용하였다.

#### 수학식 4

$$EP = \int_{x_1}^{x_n} F(x) dx$$

[0065]

#### 수학식 5

$$EP_{LS_i} = \int_{IM_1}^{IM_2} \Phi \left[ \frac{\ln(IM) - \mu_{LS_i}}{\sigma_{LS_i}} \right] dM$$

[0066]

[0067] 여기서,  $EP_{LS_i}$ 은 주어진 지진강도  $IM_1$ 과  $IM_2$  사이의 범위 내에서 특정한 한계상태( $LS_i$ )일 때 취약도 함수로부터 도출되는 기대확률이다.

[0070] 본 발명에 따른 손상확률 추정부(130)에서, 건축물의 성능수준에 따른 수학적 손상확률( $AEP_{P_j}$ )은 한계상태가 다른 두 취약도 함수로부터 도출되는 기대확률의 차이로서, 각각의 성능수준에서 손상확률은 다음 수학식 6으로 산출될 수 있다.

#### 수학식 6

$$AEP_{P_j} = \frac{EP_{LS_{j-1}} - EP_{LS_j}}{EP_{LS_0}}$$

[0071]

[0072] 여기서,  $EP_{LS_0}$ 은 주어진 지진강도  $IM_1$ 과  $IM_2$  사이의 범위 내 전체 영역이다.  $EP_{LS_{j-1}} - EP_{LS_j}$ 은 각각 연속되는 두 한계상태에 대해 초과할 확률을 나타내는 식으로 둘의 차이를 통해 구하고자 하는 한계상태에 대한 손상확률을 구할 수 있다.  $P_j$ 는 한계상태에 따른 성능수준을 나타내며,  $j=1$ 일 경우 즉시거주 단계,  $j=2$ 일 경우 인명안전 단계,  $j=3$ 일 경우 붕괴방지 단계,  $j=4$ 일 경우 붕괴 단계이다.



[0074] 본 발명에 따른 수학적 손상확률 추정에 관한 수학적식들에 있어서, 수학적식 1에서는 취약도 함수에서 손상확률에 대해 정의하고, 수학적식 2에서는 취약도 함수를 로그정규분포의 누적분포함수로 정의하고 있다. 수학적식 3에서는 손상확률을 한계상태를 초과할 확률로 설명하고 있고, 이를 통해 한계상태를 초과하는 데이터의 비율을 알 수 있다. 이를 수학적식 4에서 정의하는 기대확률에 대입하여 정리하면, 수학적식 5와 같이 특정 한계상태일 때 취약도 함수로부터 도출되는 기대확률을 구할 수 있다. 수학적식 6에서는 수학적식 5에서 언급한 기대확률의 단계별 차이를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 과정에 대해 설명하고 있다.

[0077] 이하에서는, 본 발명에 따른 경험적 손상확률 산출부(200)를 설명한다.

[0078] 경험적 손상확률 산출부(200)는 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출할 수 있다.

[0079] 본 발명에 따른 경험적 손상확률 산출부(200)는 건축물에 대한 관측 데이터를 수집하는 데이터 수집부(210); 상기 관측데이터를 손상 단계별로 구분하는 데이터 분류부(220); 및 상기 손상 단계별로 구분된 데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 손상확률 산출부(230)가 구비될 수 있다.

[0081] 본 발명에 따른 손상확률 산출부(230)는 다음 수학적식 7로 건축물에 대한 관측데이터의 경험적 손상확률을 산출할 수 있다.

$$EEP_{P_j} = \frac{N_{LS_{j-1}} - N_{LS_j}}{N_{LS_0}}$$

[0082]

[0083] 여기서,  $EEP_{P_j}$ 는 관측데이터의 경험적 손상확률이며,  $N_{LS_j}$ 는 관측데이터의 각각의 한계상태를 초과하는 데이터의 수를 의미하며,  $N_{LS_0}$ 는 전체 관측 데이터의 수를 의미한다.  $j=1$ 일 경우 즉시거주 단계,  $j=2$ 일 경우 인명안전 단계,  $j=3$ 일 경우 붕괴방지 단계,  $j=4$ 일 경우 붕괴 단계이다.  $N_{LS_j}$ 는 전 단계의 한계상태에 대해 관측데이터의 각각의 한계상태를 초과하는 데이터의 수를 의미한다.

[0085] 이하에서는, 본 발명에 따른 중간 한계상태 선정부(300)를 설명한다.

[0086] 중간 한계상태 선정부(300)는 수학적 손상확률 추정부(100)에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부(200)에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와 오차가 적은 중간 한계상태를 선정할 수 있다.

[0088] 본 발명에 따른 중간 한계상태 선정부(300)에서는 추정된 수학적 손상확률과 관측데이터의 경험적 손상확률의 비교를 통해 관측데이터와의 오차가 최소인 중간 한계상태를 선정한다. 관측데이터의 경험적 손상확률을 구하는 과정은 수학적식 7에서 설명하고 있다.

[0090] 본 발명에 있어서, '중간 한계상태'란 관측데이터를 이용한 최종 한계상태를 도출하는 과정에 있어 관측데이터를 통한 경험적 손상확률과 유사한 수학적 손상확률에 사용되는 한계상태를 의미한다. 이는 경험적 손상확률과 비교를 통해 선정할 수 있다.

[0092] 본 발명에 따른 중간 한계상태 선정부(300)는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)와 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 다음 수학적 식 8을 통해 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태를 선정할 수 있다.

### 수학적 식 8

$$\text{Min} |AEP_x - EEP|$$

subjected to  $AEP_x$

[0094]

[0095] 여기서,  $AEP_x$  는 공학적 지표의 한계상태에 따른 수학적 손상확률을 나타내며, EEP는 관측데이터를 통한 경험적 손상확률을 의미한다.

[0097] 수학적 식 8에서 수학적 손상확률(AEP)와 경험적 손상확률(EEP)의 차이가 최소가 되도록 하는 한계상태를 중간 한계상태로 선정하고, 이에 따른 수학적 손상확률과 관측데이터의 경험적 손상확률을 이후 다음 수학적 식 9을 통해 최종 한계상태를 도출할 수 있도록 한다.

[0098]  $AEP_x$  ( $x = 1, 2, \dots$ ) 는 선정한 공학적 지표의 한계상태에 따른 손상확률을 나타낸다.

[0101] 본 발명에 따른 중간 한계상태 선정부(300)는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)와 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하는 다음 수학적 식 9를 통해 취약도 곡선의 지진강도로 표현되는 평균( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정할 수 있다.

### 수학적 식 9

$$\text{Min} |AEP_{P_{(j,k)}} - EEP_{P_j}|$$

$$\text{subjected to } \mu_{LS(j,k)}$$

$$1 \leq j \leq 4, 1 \leq k \leq 1000$$

[0102]

[0104] 여기서,  $j$ 는 1,2,3,4이고 이를 통해 각 단계별 한계상태와 그에 따른 성능수준을 나타낼 수 있다. 수학적 손상확률을 구하는 과정에서는  $j$ 값과  $k$ 값에 따라 지진 강도로 표현되는 누적 분포 함수의 평균이 되는 값

( $\mu_{LS(j,k)}$ )이 결정되고, 이를 통해 수학적 식 9의 최적화 과정이 가능하다.  $AEP_{P_{(j,k)}}$ 는 한계상태에 따른



$$EEP_{P_j}$$

수학적 손상확률을 의미한다.  $EEP_{P_j}$ 는 한계상태에 따른 경험적 손상확률을 의미한다.

[0106] 본 발명의 목적인 기준의 취약도 평가를 통한 손상확률과 관측데이터의 손상확률의 비교 및 분석을 통한 새로운 한계상태 산출을 위해서는 상기의 식들을 이용한 최적화 과정이 필요하다. 이는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)의 차이를 최소화하여 도출이 가능하다.

[0108] 이하에서는, 본 발명에 따른 최종 한계상태 산출부(400)를 설명한다.

[0109] 최종 한계상태 산출부(400)는 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출할 수 있다.

[0110] 본 발명에 따른 최종 한계상태 산출부(400)는 상기 수학적 9를 통해 산출한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 다음 수학적 10으로 산출할 수 있다.

### 수학적 10

$$\text{For } AEP_{P_j} = AEP_{P_{(j,k)}}$$

$$\text{Find } edp_{LS_{(j,k)}}$$

[0111]

[0112] 여기서,  $AEP_{P_j}$ 는 최종 한계상태를 사용하여 도출할 수 있는 수학적 손상확률을 의미하고,  $AEP_{P_{(j,k)}}$

는  $AEP_{P_j}$ 를 도출하기 위해 수학적 8에서 구한 경험적 손상확률과 같은 손상확률을 갖는 수학적 손상확률을 의미한다.  $edp_{LS_{(j,k)}}$ 는 최종 한계상태값이다.

[0114] 수학적 9에서는 수학적 8을 통해 구한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 찾는다.

$edp_{LS_{(j,k)}}$ 는 본 발명에서 제시하는 새로운 한계상태를 나타낸다.

[0116] 최종 한계상태 산출부(400)에서는 선정된 중간 한계상태를 통한 수학적 손상확률과 관측데이터의 경험적 손상확률의 상관관계를 분석하고, 관측데이터의 경험적 손상확률과 오차를 줄이는 최적화 과정을 통해 두 손상확률의 차이를 최소화 할 수 있도록 한다. 이를 통해 얻어진 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태를 산출한다. 이와 같이 산출된 최종 한계상태를 통하여, 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 과정에서 발생하는 불확실성에 대한 보완이 가능하다.

[0117] 두 손상확률의 최적화 과정은 수학적 9에서 설명하고 있고, 상기 과정을 통해 최종적으로 수학적 10에서 설명하는 최종 한계상태를 산출할 수 있다.

[0119] 이하에서는, 본 발명과 관련된 주요 도면을 보다 상세히 설명하고자 한다.

[0120] 도 3은 특정 지진강도에서 취약도 곡선을 통해 수학적 손상확률을 구하는 과정을 나타낸 도면이다. 각각의 한계상태를 나타내는  $LS_n$ 를 초과할 확률을 통해 손상확률을 도출한다. 도 3에서는 한계 손상상태의 3단계를  $LS_1$ ,

LS2, LS3로 나타내었다.

- [0121] 도 3에서 LS1, LS2, LS3은 각 손상 단계 별 한계상태의 취약도 곡선을 의미한다. 특정 지진 강도(IM) 내에서 해당 한계상태를 초과할 확률은 각 취약도 곡선 사이의 면적으로 표현되며 이는 수학적 손상확률(AEP)이다. 각 손상 단계별 수학적 손상확률을 우측 그래프에 비율로 표시하였다.
- [0123] 도 4는 본 발명의 실시예의 필로티 건축물에 대한 적용을 보여주는 순서도이다. 도 4a 단계에서는 필로티 건축물의 프로토타입 모델을 설계하고 관측데이터를 수집한다. 도 4b 단계에서는 설계한 프로토타입 모델에 대해 재료의 변형률과 중간변위비의 한계상태에 대한 취약도 함수를 도출하고, 관측데이터를 손상 단계별로 분류한다. 도 4c 단계에서는 12 단계에 대한 수학적 손상확률과 경험적 손상확률을 도출한다. 또한, 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태로 설정한다. 도 4d 단계에서는 수학적 손상확률과 경험적 손상확률의 차이를 줄일 수 있도록 재료의 변형률의 한계상태를 수정하여 필로티 건축물에 대한 최종 한계상태를 개발한다. 최종적으로 도 4e 단계와 같이 최종 한계상태로 수학적 손상확률을 경험적 손상확률과 차이를 줄일 수 있다.
- [0125] 도 5는 최종 한계상태를 구하여 손상확률을 도출하는 과정을 나타내는 도면이다. 먼저 경험적 손상확률(EEP)과 유사한 손상확률을 갖는 수학적 손상확률(AEP)를 중간변위비나 재료의 변형률과 같은 공학적 지표의 한계상태 중 선택하여 중간 한계상태를 선정한다. 이후 경험적 손상확률과 유사한 손상확률을 갖도록 최종 한계상태를 구한다.
- [0126] 도 5a에서 관측데이터를 통한 경험적 손상확률(EEP)과 중간변위비나 재료의 변형률과 같은 공학적 지표의 한계상태를 통해 수학적 손상확률을 도출하였고 각 손상상태 별 손상확률을 그래프로 표현하였다. 수학적 8과 도 5a의 그래프를 참고하여 경험적 손상확률과 차이가 최소인 수학적 손상확률에 대한 한계상태를 중간 한계상태로 설정한다. 도 5b에서는 중간 한계상태를 통한 수학적 손상확률을 관측데이터를 통한 경험적 손상확률과 차이를 최소화 할 수 있도록 수정하여 이에 따른 최종 한계상태를 도출하였다.
- [0129] 한편, 본 발명은 산출방법발명으로 구현될 수 있다. 구체적으로 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법으로 구현될 수 있다.
- [0130] 이러한 방법발명은 전술한 시스템발명과 발명의 카테고리는 상이하나, 실질적으로 동일한 발명에 해당된다. 따라서, 시스템발명과 공통되는 구성은, 전술한 설명으로 대체하기로 하며, 이하에서는 본 방법발명의 요지 위주로 설명하고자 한다.
- [0132] 본 방법발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버에 의해 수행되는, 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법으로서, 제어서버는 수학적 손상확률 추정부(100)가 건축물에 대해 기존의 한계상태를 이용한 취약도 함수를 통해 수학적 손상확률을 추정하는 S100 단계; 경험적 손상확률 산출부(200)가 건축물에 대한 관측데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 S200 단계; 중간 한계상태 선정부(300)가 상기 수학적 손상확률 추정부(100)에서 추정된 수학적 손상확률과 경험적 손상확률 산출부(200)에서 산출된 경험적 손상확률의 비교를 통해, 상기 건축물에 대한 관측데이터와 오차가 적은 중간 한계상태를 선정하는 S300 단계; 및 최종 한계상태 산출부(400)가 상기 중간 한계상태에, 상기 경험적 손상확률과 오차가 최소인 손상확률의 한계상태를 반영하여 보완한 최종 한계상태를 도출하는 S400 단계를 포함할 수 있다.
- [0133] 본 발명에 따른 S100 단계는 모델 설계부(110)가 건축물의 특성을 반영하여 프로토타입 모델을 설계하는 S110 단계; 취약도 함수 산출부(120)가 상기 모델 설계부(110)에서 설계된 프로토타입 모델에 대해, 중간변위비 및 재료 변형률로 제시된 기존 한계상태에 대한 취약도 함수를 산출하는 S120 단계; 및 손상확률 추정부(130)가 상기 산출된 취약도 함수를 통해 건축물의 수학적 손상확률을 추정하는 S130 단계로 구비될 수 있다.
- [0134] 본 발명에 따른 S200 단계는 데이터 수집부(210)가 건축물에 대한 관측 데이터를 수집하는 S210 단계; 데이터 분류부(220)가 상기 관측데이터를 손상 단계별로 구분하는 S220 단계; 및 손상확률 산출부(230)가 상기 손상 단

계별로 구분된 데이터를 통해 경험적 손상확률을 산출하는 S230 단계로 구비될 수 있다.

[0135] 본 발명에 따른 S300 단계의 중간 한계상태 선정부(300)는 건축물의 수학적 손상확률(AEP)과 경험적 손상확률(EEP)을 최소화하는 상기 수학적 8을 통해 경험적 손상확률과 차이가 최소인 재료의 변형률을 중간 한계상태로 선정할 수 있다.

[0136] 본 발명에 따른 S400 단계의 최종 한계상태 산출부(400)는 상기 수학적 9를 통해 산출한 수학적 손상확률을 도출할 수 있는 최종 한계상태 값을 상기 수학적 10으로 산출할 수 있다.

[0138] 또한, 본 발명은 컴퓨터프로그램으로 구현될 수도 있다. 구체적으로 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 건축물의 관측데이터 기반 한계상태 산출방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

[0140] 본 발명의 실시예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 판독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 여기서, 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광 기록매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치를 포함한다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

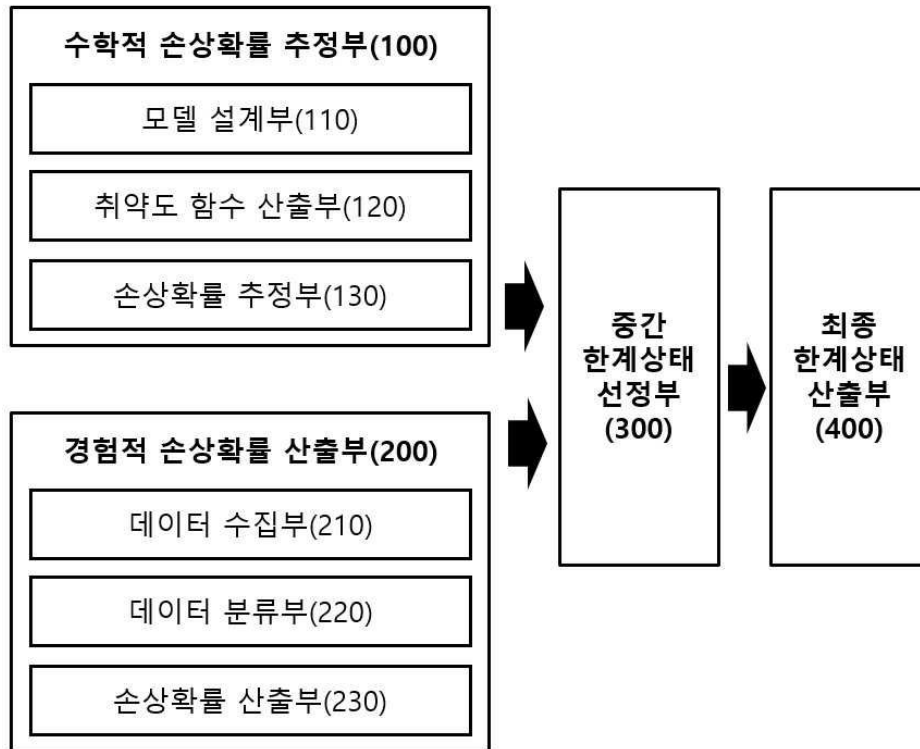
[0142] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 부호의 설명

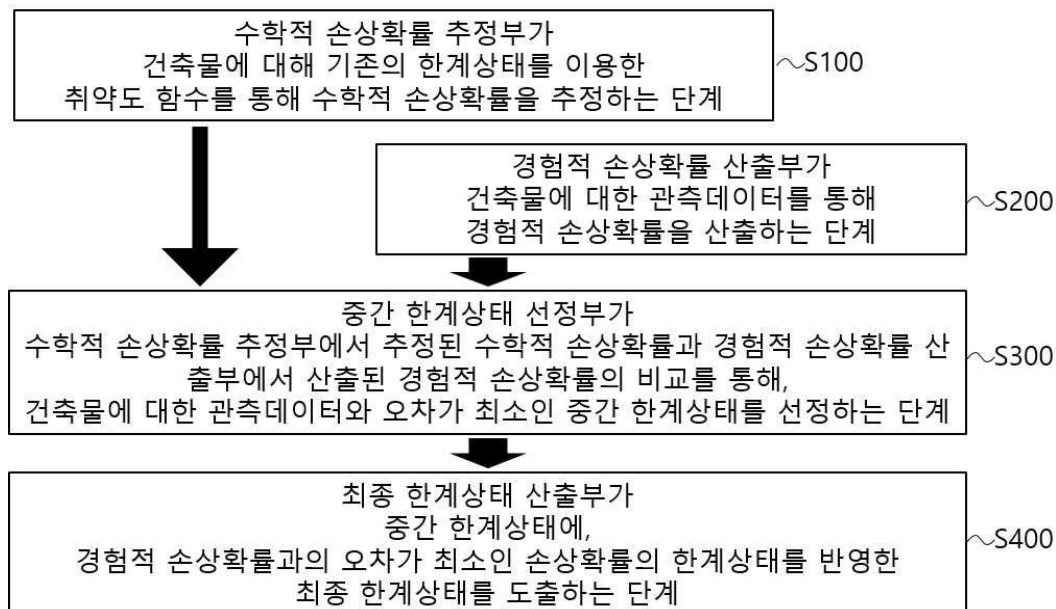
[0143] 100 : 수학적 손상확률 추정부  
110 : 모델 설계부  
120 : 취약도 함수 산출부  
130 : 손상확률 추정부  
200 : 경험적 손상확률 산출부  
210 : 데이터 수집부  
220 : 데이터 분류부  
230 : 손상확률 산출부  
300 : 중간 한계상태 선정부  
400 : 최종 한계상태 산출부

도면

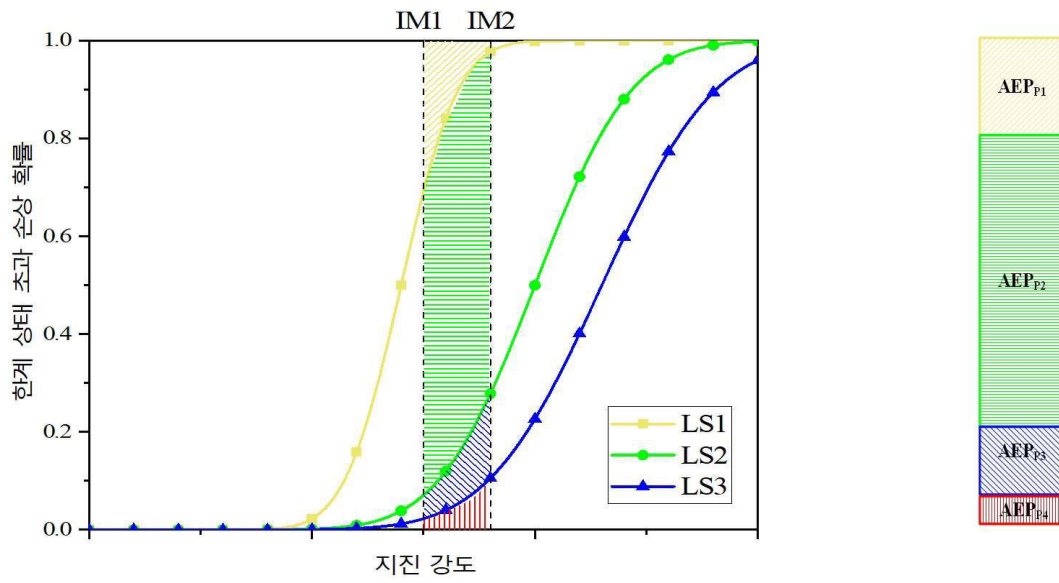
도면1



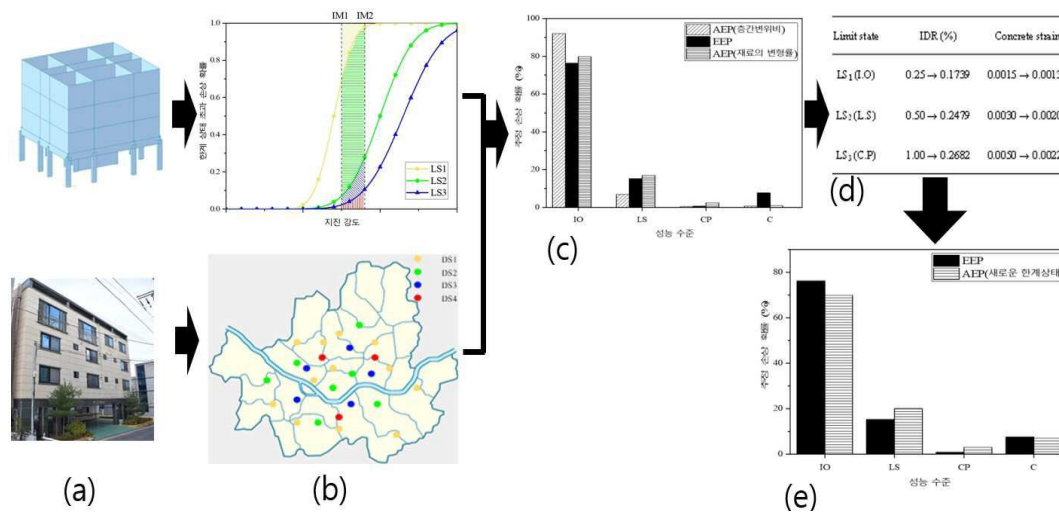
도면2



도면3



도면4



도면5

